

(4)

03P 09786



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 47 314 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 100 47 314.8
㉔ Anmeldetag: 25. 9. 2000
㉕ Offenlegungstag: 5. 4. 2001

⑤1 Int. Cl.7:
G 06 T 17/00
A 61 M 25/095
A 61 B 5/055
A 61 B 6/00
A 61 B 8/00
A 61 K 49/18

DE 100 47 314 A 1

③0 Unionspriorität:
09/408,930 30. 09. 1999 US

㉚ Anmelder:
Siemens Corporate Research, Inc., Princeton, N.J.,
US

㉛ Vertreter:
Patentanwälte Westphal, Mussnug & Partner,
78048 Villingen-Schwenningen

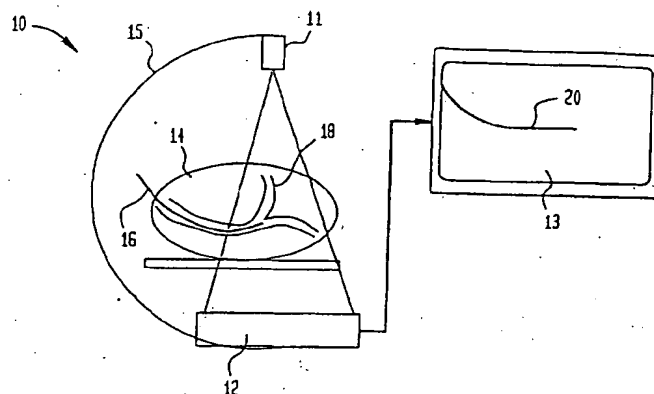
㉜ Erfinder:
Geiger, Bernhard, Plainsboro, N.J., US; Navab,
Nassir, East Windsor, N.J., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für erweiterte Angioskopie

⑤7 Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil für die Angioskopie, bei welchem Daten aus einem 3-D-Modell unter Verwendung beispielsweise eines Magnetresonanzbildes, computerisierter Tomographie (CT) und 3-D-Angio abgeleitet werden. Die Daten werden segmentiert, um ein segmentiertes 3-D-Modell der Blutgefäße zu erhalten. Ein erstes Verfahrensbild wird mit einem vorhandenen Kontrastmittel durchgeführt. Das 3-D-Modell wird sodann mit dem ersten Verfahrensbild registriert und es werden "virtuelle Kameraparamter" erhalten. Das 3-D-Modell wird wiedergegeben und dem zweiten Verfahrensbild ohne Kontrast überlagert, wodurch ein virtueller Kontrast erzielt wird.



DE 100 47 314 A 1

Bei vielen medizinischen Verfahren wird ein Katheter in das Arteriensystem eines Patienten eingeführt und zu einer Zielstelle innerhalb des Körpers geführt, wobei dieses Verfahren im Allgemeinen unter Fluoroskopführung mit Verwendung eines Fluoroskopgeräts mit C-Arm durchgeführt wird. Periodisch nimmt der behandelnde Arzt einen Röntgenschnappschuß, um zu sehen, wo die Spitze des Katheters angeordnet ist, oder im Fall von schwierigen Manipulationen werden diese vom Arzt unter konstanter Fluoroskopabbildung durchgeführt.

Da Blutgefäße im Wesentlichen in einem Röntgenbild nicht sichtbar sind, wird ein Kontrastmittel (CA) durch den Katheter injiziert, wenn der behandelnde Arzt die Stellung des Katheters in Bezug auf die Blutgefäße beobachten muß. Kontrastmittel ist jedoch normalerweise toxisch, und die Gesamtmenge an Kontrastmittel, die in sicherer Weise an einen Patienten abgegeben werden kann, ist gewöhnlich begrenzt. Es wird die Erkenntnis zugrundegelegt, daß ein Verfahren, das die Menge an Kontrastmittel verringern kann, für den Patienten allgemein vorteilhaft ist, da weniger Kontrastmittel weniger Belastung und weniger mögliche Nebenwirkungen auf den Patienten bedeutet und dadurch das Risiko herabgesetzt wird, daß ein Eingriff erfolglos abgebrochen werden muß, weil eine Grenze der CA-Aufnahme erreicht worden ist.

Gemäß einem Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil, welches die folgenden Schritte umfaßt: Erfassen von Daten für ein 3D-Modell aus einem Abbildungsverfahren; Segmentieren der Daten zur Erzielung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße; Erhalten eines ersten Verfahrensbildes des Körperteils unter Benutzung einer Strahlungsquelle und eines Bilddetektors, wobei das Verfahrensbild die Blutgefäße mit Kontrastmittelinjektion umfaßt; Registrieren des segmentierten 3D-Modells mit dem Verfahrensbild und Ableiten von Parametern daraus, die sich auf die Positionen des Körperteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells beziehen; Erhalten eines zweiten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung der Strahlungsquelle und des Bilddetektors, wobei das zweite Verfahrensbild ohne Kontrastmittelinjektion erhalten wird; und Wiedergeben des 3D-Modells und Überlagern des 3D-Modells über das zweite Verfahrensbild. Das Verfahrensbild ist das während des Eingriffs verwendete Bild.

Gemäß einem weiteren Aspekt umfaßt die Erfindung ein Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem das Abbildungsverfahren entweder aus magnetischen Resonanzbildern, computerisierter Tomographie (CT) oder 3D-Angio besteht und die Verfahrensbilder entweder aus magnetischer Resonanzabbildung, computerisierter Tomographie (CT), 3D-Angio, Fluoroskopie oder Ultraschallabbildung bestehen.

Gemäß noch einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil, welches die folgenden Schritte umfaßt: Erfassen von Daten für ein 3D-Modell aus einem Bildverfahren; Segmentieren der Daten zur Erzielung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße; Erhalten eines ersten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung einer Strahlungsquelle und eines Bilddetektors, wobei das erste Verfahrensbild die Blutgefäße mit Kontrastmittelinjektion enthält; Registrieren des segmentierten 3D-Modells mit dem Verfahrensbild, und Ableiten von Parametern daraus, die sich auf die Positionen des Körperteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells be-

ziehen, durch Vergleichen des ersten Verfahrensbildes mit einer Anzahl von vorberechneten Projektionen des 3D-Modells; Erhalten eines zweiten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung der Strahlungsquelle und des Bilddetektors, wobei das zweite Verfahrensbild ohne Kontrastmittelinjektion erhalten wird; Wiedergeben des 3D-Modells durch Auffinden einer Katheterspitze in dem zweiten Verfahrensbild, indem ein Untersatz (subset) des segmentierten 3D-Modells einschließlich der Katheterspitze und strömungsabwärts gelegener Blutgefäße wiedergegeben wird; und Überlagern des 3D-Modells mit dem zweiten Verfahrensbild unter Verwendung eines visuellen Kontrastes.

Gemäß noch einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil für Angioskopie, welches umfaßt: Ableiten von Daten aus einem 3D-Modell unter Verwendung von magnetischer Resonanzabbildung, computerisierter Tomographie (CT) oder 3D-Angio; Segmentieren der Daten zur Erzeugung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße; Erzeugen eines ersten Verfahrensbildes mit einem vorhandenen Kontrastmittel; Registrieren des 3D-Modells mit dem ersten Verfahrensbild und dadurch Erzielen von "virtuellen Kameraparametern"; Wiedergeben des 3D-Modells; und Überlagern des wiedergegebenen 3D-Modells mit einem zweiten Verfahrensbild ohne Kontrast, wodurch ein virtueller Kontrast erzielt wird.

Ein Ziel der Erfindung ist die Verringerung der Menge an Kontrastmittel während eines Eingriffs mit Verwendung eines Katheters innerhalb des Arterienbaumes.

Die Erfindung wird verständlicher aus der ausführlichen Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen in Verbindung mit den Zeichnungen. Es zeigt:

Fig. 1 in schematischer Form eine Anordnung gemäß einem Aspekt der Erfindung;

Fig. 2 in schematischer Form die Verwendung eines Kontrastmittels;

Fig. 3 die Verwendung eines 3D-Modells gemäß einem Aspekt der Erfindung ohne Verwendung eines realen Kontrastmittels;

Fig. 4 die Verwendung eines virtuellen Kontrastes gemäß einem Aspekt der Erfindung;

Fig. 5 ein Blockschaltbild von Komponenten gemäß den Grundlagen der Erfindung; und

Fig. 6 ein Ablaufdiagramm, das zum Verständnis der Erfindung hilfreich ist.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird vor dem Eingriff eine 3D-Rekonstruktion des Arterienbaums berechnet. Dies kann aufgrund einer computerisierten tomographischen (CT)-Erfassung oder aufgrund einer magnetischen Resonanzabbildung (MRI) oder aus 3D-Angio aus bekannten anderen Zusammenhängen erfolgen. Siehe beispielsweise N. Navab et al., "3D reconstruction from projection matrices in a C-arm based 3d-angiography system", erschienen in First International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Seiten 1305-1306, Cambridge, MA; 1998.

Eine Online-Registrierung der 3D-Rekonstruktion mit einem fluoroskopischen Bild oder Bildern und dem Katheter wird während des Eingriffs durchgeführt. Ein 2D-Injektionsbild mit virtuellem Kontrast wird aus der 3D-Rekonstruktion berechnet und wird sodann dem fluoroskopischen Bild derart beigelegt, daß die Wirkung einer Kontrastinjektion imitiert wird. Der Arzt sieht das fluoroskopische Bild, welches den Katheter zeigt, und die Blutgefäße werden von 3D-Modell eingeblendet, was zu einer Injektion mit virtuellem Kontrast führt.

In der Praxis kann gemäß einem Aspekt der Erfindung der Arzt entscheiden, ob er die Injektion mit reellem Kontrast

oder die Injektion mit virtuellem Kontrast aktiviert. Gelegentlich ist es erforderlich, die Injektion mit reellem Kontrast zu benutzen, um die Registrierung zu aktualisieren. Beispielsweise könnte eine von zwei oder zwei von drei Injektionen durch eine virtuelle Injektion ersetzt werden, welche nicht von der Belästigung für den Patienten bei einer Kontrastinjektion begleitet wird.

Es gibt einige Vorteile für ein solches Verfahren gemäß der Erfindung. Zu diesen gehört die Tatsache, daß die erforderliche Menge von zu verabreichendem Kontrastmittel verringert wird. Der Arzt wendet das Verfahren in einer gewohnten und bekannten Weise an, so daß beim Beobachten der fluoroskopischen Darstellung der Arzt die Bilder in der üblichen Weise sieht. Das erfindungsgemäße System wird in die klinische Routine nahtlos integriert, und der Arzt kann zwischen virtuellem und reellem Kontrast umschalten. Virtueller Kontrast kann auf Abschnitte angewendet werden, die weniger kritisch sind, während reeller Kontrast für die Anwendung bei Teilen gewählt wird, bei denen sich der Arzt nicht auf die Registrierung verlassen möchte. Ferner kann gemäß einem Aspekt der Erfindung der Arzt eine volle 3-dimensionale Darstellung auf einem zusätzlichen Schirm zu dem bereicherten fluoroskopischen Bild hinzu haben.

Fig. 1 zeigt in schematischer Form eine Röntgenstrahlenvorrichtung oder ein Fluoroskop 10 mit einer Strahlungsquelle 11, einem Detektor 12 und einem Schirm 13 zur Untersuchung des Körpers 14 einer Person. Strahlungsquelle 11 und Detektor 12 sind in einer bekannten Weise an einem C-Arm 15 angebracht. Ein Katheter 16 wird in ein Blutgefäß 18 des Körpers 14 eingeführt. In bekannter Weise ist der Katheter 16 auf dem Schirm 13 sichtbar, hier als Bildteil 20 auf dem Schirm 13 bezeichnet, aber das Blutgefäß 18 ist nicht sichtbar.

Fig. 2 zeigt die Wirkung des Injizierens eines Kontrastmittels in den Körper 14, so daß Blutgefäße rings um die Spitze des Katheters 16 in dem fluoroskopischen Bild auf dem Schirm 13 als Bildteile 22 aufscheinen.

Fig. 3 zeigt eine Ausformung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung mit einem computerisierten 3D-Modell 24 eines Arterienbaumes 26, der unter Verwendung eines (nicht gezeigten) Computers erzeugt wird. Information zur Erzeugung des 3D-Modells 24 eines Arterienbaums wird aus magnetischer Resonanz-Angiographie (MRA), computerisierter tomographischer Angiographie (CTA) oder 3-dimensionaler (3D) angiographischer Untersuchung (angio exam) abgeleitet. Ferner ist 28 die Stellung einer "virtuellen Kamera" entsprechend einem Betrachtungspunkt, welcher bei Verwendung zur Erzielung des 3D-Modells 24 ein Bild gleich dem fluoroskopischen Bild auf 13 erzeugt. Kameraparameter, wie Projektionswinkel, die auf das Fluoroskop 10 bezogen sind, und Information über das Registrierungs- oder Aufzeichnungsverfahren, sind erforderlich.

In jedem Zeitpunkt ist das computerisierte 3D-Modell in Übereinstimmung mit dem Fluoroskop und dem Patienten. Dies bedeutet, daß die Projektionsparameter der Röntgenstrahlen-Konfiguration dem (nicht gezeigten) Computer bekannt sind, welcher das computerisierte 3D-Modell erzeugt. Der (nicht gezeigte) Computer wird verwendet, um ein "virtuelles" Röntgenstrahlenbild vom 3D-Modell zu erzeugen, indem die Geometrieinformation für den aktuellen C-Arm verwendet wird. Die Lage der Katheterspitze innerhalb des 3D-Modells ist ebenfalls aus einem Registrierungs- oder Aufzeichnungsverfahren bekannt.

Wie in Fig. 4 dargestellt, wurde der "virtuelle Kontrast" entsprechend einer Ausführungsform der Erfindung berechnet, indem die Blutgefäße des 3D-Modells rings um die Spitze des Katheters unter Verwendung der gleichen Geometrie, wie sie zu dem C-Arm gehört, ermittelt wurde. Kurz

gesagt bedeutet dies, daß die 3D-Information über die Blutgefäße verwendet wird, um ein 2D-Bild der Blutgefäße zu erzeugen, entsprechend der Stellung des C-Arms, um zu simulieren, was von dieser Stelle aus bei Verwendung eines Kontrastmittels zu sehen wäre.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung werden die so erzeugten Bilder 27 der Blutgefäße dem fluoroskopischen Bild überlagert. Der virtuelle Kontrast kann in einer vorbestimmten oder künstlichen Farbe wiedergegeben werden, um dem Arzt einfach evident zu machen, daß kein reeller Kontrast verwendet wird. Alternativ kann der Kontrast durch ein anderes Bildkennzeichen, wie "Blitzen" des Bildes oder Blinken desselben, erhalten werden. Da eine 3D-Wiedergabe des Katheterortes erzeugt und gleichzeitig überlagert wird, und der reelle Katheter auf dem Fluoroskopbild ohne Kontrastinjektion stets sichtbar ist, hat der Arzt eine visuelle Kontrolle der Genauigkeit der Registrierung: wenn eine Diskrepanz in der Registrierung besteht, so sollte der Arzt ein reelles Kontrastbild verwenden, um die Daten wieder in Übereinstimmung zu bringen.

Fig. 5 zeigt die Komponenten der Anlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung sowie deren Wechselwirkung. Auf der linken Seite senden der C-Arm 30 und das Fluoroskop 32 Bilder und Informationen über die Projektion (Position und Orientierung) des C-Arms zum Registrierungssystem 34. Das Registrierungssystem berechnet die Transformation zwischen dem 3D-Modell und dem C-Arm-System. Aus dieser Transformation wird die Position der Spitze des Katheters im 3D-Modell berechnet.

Das Wiedergabesystem 36 kann sodann eine 2D-Projektion des 3D-Modells erzeugen, die das 3D-Modell in einer "virtuellen" Fluoroskopansicht zeigt. Das 3D-Modell kann wahlweise vollständig oder nur als ausgewählte Teile dargestellt werden. Beispielsweise kann es erwünscht sein, nur den Teil des 3D-Modells von der Spitze des Katheters in Richtung des Blutflusses zu zeigen. Dies würde dem Chirurgen einen Anblick ähnlich dem Anblick zeigen, der erzielt wird, wenn das Kontrastmittel in das Blutgefäß durch den Katheter fließt.

Erfindungsgemäß ist jedoch kein Kontrastmittel erforderlich. Auf dem auf der rechten Seite in Fig. 5 gezeigten Computerschirm kann der Chirurg eine Wiedergabe des 3D-Modells und einen Indikator sehen, der die Spitze des Katheters oder, je nachdem, des Endoskops zeigt. Der Chirurg kann entscheiden, ob eine reelle Injektion von Kontrastmittel oder eine "virtuelle" Kontrastinjektion erforderlich ist. Wenn eine reelle Injektion gewählt wird, wird das Bild vom Fluoroskop 32 in Fig. 5 zur Registrierungseinheit gesendet und das 3D-Modell wird wieder mit dem Bild registriert.

Fig. 6 zeigt Schritte, die gemäß einer Ausführungsform der Erfindung durchzuführen sind. Ein 3D-Modell des Blutgefäßbaumes wird unter Ausnützung einer Segmentierung konstruiert. Aus 3D-Angio-Daten, CTA- oder MRA-Daten kann der Blutgefäßbaum unter Verwendung im Handel erhältlicher privater Systeme, wie "3D-Virtuoso", segmentiert werden. Die angewendeten Techniken sind Schwellenbildung und/oder Bereichswachstum. Die Segmentierung ist ein Standardverfahren, das mit im Handel erhältlichen Produkten durchgeführt werden kann. Es ist ein Verfahren zur Identifizierung der Voxels in einem volumetrischen Datensatz (z. B. erhalten aus MRI, CT oder 3D-Angio), die zu einem bestimmten Organ (wie den Arterien), gehören. Das Ergebnis der Segmentierung ist eine binäre Klassifizierung, wobei jedes Voxel klassifiziert wird in "ist Teil des Objekts" oder "ist nicht Teil des Objekts".

Vor der Segmentierung hat jedes Voxel einen Wert, der durch eine physikalische Eigenschaft des Gewebes bestimmt wird (Dichte, Röntgenstrahlen-Absorption und

dergl. in Abhängigkeit von der Abbildungsmodalität). Nach der Segmentierung hat jedes Voxel entweder den Wert 1 (Teil des Objekts) oder 0 (nicht Teil des Objekts). Die üblichsten Segmentierungsverfahren sind Schwellenbildung und Bereichswachstum (thresholding and region growing). Bei der Schwellenbildung gibt der Benutzer einen oberen und einen unteren Schwellenwert an. Die Voxels mit einem Wert zwischen diesen Schwellenwerten werden als Teil des Objekts gewählt, alle anderen werden als nicht Teil des Objekts klassifiziert.

Beim Bereichswachstum ist eine Eingabe mehr erforderlich: zusätzlich zum unteren und oberen Schwellenwert muß eine geometrische Ortsangabe gewählt werden, von der bekannt ist, daß sie ein Teil des Objekts ist (Samenkorn). Sodann werden gemäß einem bekannten Verfahren nur Voxels mit Werten zwischen den Schwellenwerten und einer Verbindung mit diesem Samenkorn als Teil des Objekts genommen.

Eine Segmentierung kann in einem handelsüblichen Wiedergabesystem (wie 3D-Virtuoso oder Magicview) verwendet werden, um ein Bild des segmentierten Objekts zu erzeugen.

Bei der Erfindung ist eine Segmentierung von Arterien erforderlich, was hier als Segmentierungs-Blutgefäßbaum bezeichnet wird, da die Arterien im allgemeinen die Form eines Baumes besitzen, in dem sich eine Arterie in kleinere Zweige aufspaltet. Der Blutfluß ist von den größeren Gefäßen zu den kleineren Gefäßen gerichtet. Das größte Gefäß oder das Gefäß, aus dem der Blutfluß entspringt, wird als Beginn des Blutgefäßbaumes oder als die Wurzel bezeichnet.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung eines virtuellen Kontrastmittels erfordert ferner eine zusätzliche Information, welche die Lage der Spitze des Katheters und die Blutflußrichtung darstellt. Dies braucht man für die Entscheidung, welcher Teil des Blutgefäßbaumes wiederzugeben ist, wenn eine virtuelle Kontrastinjektion an einer bestimmten Stelle stattfinden soll.

Die Lage der Spitze des Katheters (toc) kann gefunden werden, indem eine binäre Segmentierung entweder eines Fluoroskopbildes ohne Kontrast oder eines Subtraktionsbildes durchgeführt wird. Bildsubtraktion ist ein häufig für die Fluoroskopie angewendetes Verfahren, bei welchem ein Bild ohne Kontrast gespeichert und später von einem mit injiziertem Kontrastmaterial erzeugten Bild subtrahiert wird, wodurch ein Subtraktionsbild erzeugt wird, bei dem beispielsweise Knochenbilder entfernt sind und dadurch Blutgefäße klarer sichtbar zurücklassen.

In den meisten Fällen ist der Katheter im Fluoroskopbild gut festgelegt, so daß eine einfache Schwellenbildung ausreicht, um die den Katheter darstellenden Pixels zu identifizieren.

In anderen Fällen, bei denen der durch die Schwellenbildung erzielte Kontrast nicht ausreicht, kann ein vorher gespeichertes Bild vom Bild mit Katheter subtrahiert werden.

Das segmentierte Bild des Katheters zeigt ein Linienbild des Katheters, welches die Bildgrenze überkreuzt und ein freies Ende besitzt. Siehe beispielsweise 20 in Fig. 3. Die toc kann im Bild als das Ende der Linie identifiziert werden, welche die Bildgrenze nicht überkreuzt und daher im Hauptteil des Bildes vorhanden ist.

Der das Bild der Katheterspitze darstellende Punkt bildet zusammen mit der aus dem Registrierungsprozess erhaltenen Information einschließlich des "Blickpunktes" und der Projektionswinkel eine gerade Linie im 3D-Raum. Die toc in 3D ist der Schnittpunkt dieser Linie mit dem 3D-Modell.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann die Flußrichtungsinformation durch Verwendung eines Bereichswachs-

tums im binär segmentierten Blutgefäßbaum erhalten werden, der an der Basis des Blutgefäßbaumes beginnt.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann der Benutzer ein Voxel an der Basis des Blutgefäßbaumes interaktiv wählen. Dieses Voxel erhält das Label 0. Alle Voxels im Blutgefäß, die diesem Voxel benachbart sind, erhalten das Label 1. Alle Voxels neben den Voxels mit dem Label n erhalten das Label (n + 1). Wenn für den virtuellen Kontrast die Spitze des Katheters sich in Voxel m befindet, würde das Wiedergabesystem nur Voxels mit einem Label $\geq m$ und mit dem gleichen Voxel verbunden wiedergeben.

Beim Registrierungsverfahren gemäß den Grundsätzen der Erfindung wird das Fluoroskopbild während einer realen Kontrastinjektion mit dem 3D-Modell registriert. Da das Kontrastmittel einen größeren Teil des Gefäßbaumes füllt als der Katheter, ist die Genauigkeit der Registrierung größer.

Der Betrachtungswinkel der Fluoroskopprojektion ist aus physikalischen Installationsdaten bekannt, wie die Positionierung des Patienten im C-Arm-System, d. h. auf dem Rücken liegend oder in einer anderen Stellung. Normalerweise hat der Chirurg einen Blickpunkt für den C-Arm, der einen optimalen Blick auf ein bestimmtes Blutgefäß ergibt, vorzugsweise so gewählt, daß andere Gefäße nicht durch weitere Gefäße überdeckt sind, oder ähnliche Zweideutigkeiten.

Die Registrierung des 3-dimensionalen Modells mit den Fluoroskopbildern kann auf verschiedene Weisen gemäß den Grundsätzen der Erfindung durchgeführt werden.

Bei einem Verfahren wird eine Anzahl von vorberechneten Projektionen des 3D-Modells verwendet, welche mit den aktuellen Fluoroskopbildern verglichen werden. Es wird sodann angenommen, daß die engste Übereinstimmung die beste Registrierung ergibt. Dieses Verfahren ist an sich bekannt aus A. Schweikart et al. "Treatment planning for a radiosurgical system with general kinematics", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seiten 1720-1727, San Diego; Mai 1994, IEEE Computer Society Press.

Ein anderes Verfahren verwendet Bezugsmarkierungen am Patienten, die im 3D-Modell sichtbar sind, sowie aus einer optischen Nachführeinrichtung in der radiologischen Anlage, wodurch die Korrelierung für die Erzielung der Registrierung ermöglicht wird.

Noch ein anderes, bei der Erfindung anwendbares Verfahren ist die Anwendung einer Off-line-Kalibrierung des C-Arms, wie von Navab beschrieben. Solange sich die Stellung des Patienten nicht ändert, führt dies zu einem kalibrierten System, in welchem die Projektionsmatrizen des C-Arms bekannt sind. Während dies zwar möglicherweise das einfachste Verfahren für die Durchführung ist, ist es nur möglich, wenn das Modell aus einer 3D-Angio unter Verwendung des gleichen C-Arms und der gleichen Kalibrierung erhalten wurde. Dagegen arbeiten die anderen beschriebenen Verfahren bei allgemeinen Modellen einschließlich MRA und CTA.

Die Erfindung wurde zwar anhand von beispielhaften Ausführungsformen beschrieben, aber es ist dem Fachmann klar, daß verschiedene Modifizierungen und Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Gedanken der Erfindung abzuweichen, der in den folgenden Ansprüchen definiert ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil, welches die folgenden Schritte umfaßt:
Erfassen von Daten für ein 3D-Modell aus einem Ab-

bildungsverfahren;

Segmentieren der Daten zur Erzielung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße;

Erhalten eines ersten Verfahrensbildes des Körperteils unter Benutzung einer Strahlungsquelle und eines Bild- 5
detektors, wobei das Verfahrensbild die Blutgefäße mit Kontrastmittelinjektion umfaßt;

Registrieren des segmentierten 3D-Modells mit dem Verfahrensbild und Ableiten von Parametern daraus, 10
die sich auf die Positionen des Körpersteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells beziehen;

Erhalten eines zweiten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung der Strahlungsquelle und des 15
Bilddetektors, wobei das zweite Verfahrensbild ohne Kontrastmittelinjektion erhalten wird; und
Wiedergeben des 3D-Modells und Überlagern des 3D-Modells über das zweite Verfahrensbild.

2. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem das Abbildungs- 20
verfahren entweder aus magnetischem Resonanzabbilden, computerisierter Tomographie (CT) oder 3D-Angio besteht und die Verfahrensbilder entweder aus magnetischer Resonanzabbildung, computerisierter Tomographie (CT), 3D-Angio, Fluoroskopie oder Ultra- 25
schallabbildung bestehen.

3. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem der Schritt der 30
Segmentierung das Etikettieren der Blutflußrichtung in den Blutgefäßen umfaßt.

4. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem der Schritt des 35
Wiedergebens einen Schritt des Auffindens einer Katheterspitze in dem zweiten Verfahrensbild umfaßt, welches einen Untersatz des segmentierten 3D-Modells einschließlich der Katheterspitze und der strömungsabwärts gelegenen Blutgefäßteile wiedergibt.

5. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 4, bei welchem der Schritt des 40
Auffindens der Katheterspitze eine Schwellenbildung des zweiten Verfahrensbildes zur Erzeugung eines Schwellenbildes umfaßt.

6. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 5, welches den Schritt der Identifizierung der Spitze des Katheters als das Ende einer 45
Linie umfaßt, welche die Bildgrenze nicht überkreuzt und daher im Hauptteil des Schwellenbildes anwesend ist.

7. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 6, bei welchem der Schritt des 50
Auffindens der Katheterspitze die Schritte des Auffindens der Katheterspitze im 3D-Modell durch Ableiten einer geraden Linie im 3D-Raum aus den auf die Positionen des Körperteils, der Strahlungsquelle, des Bild- 55
detektors und des 3D-Modells und der Spitze des Katheters in dem subtrahierten Bild bezogenen Parametern umfaßt; und Feststellen des Schnittpunktes der geraden Linie mit dem 3D-Modell.

8. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 4, bei welchem der Schritt des 60
Auffindens der Katheterspitze folgende Schritte umfaßt:

Ableiten eines subtrahierten Bildes durch Subtrahieren eines vorher gespeicherten Bildes ohne Kontrast und 65
ohne einen Katheter aus dem zweiten Verfahrensbild mit Katheter;

Schwellenbildung bei dem subtrahierten Bild; und
Identifizieren der Spitze des Katheters in dem subtra-

hierten Bild als das Ende einer Linie, welche die Bildgrenze nicht überkreuzt und daher im Hauptteil des subtrahierten Bildes vorhanden ist.

9. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 8, bei welchem der Schritt des 5
Auffindens einer Katheterspitze die Schritte des Auffindens der Katheterspitze in dem 3D-Modell umfaßt, durch:

Ableiten einer geraden Linie im 3D-Raum aus den Parametern, die sich auf die Positionen des Körperteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells sowie der Spitze des Katheters im subtrahierten 10
Bild beziehen; und

Feststellen des Schnittpunktes der geraden Linie mit dem 3D-Modell.

10. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem das Wiedergeben und Überlagern unter Verwendung eines visuellen 15
Kontrastes selektiv durchgeführt wird.

11. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 10, bei welchem der visuelle 20
Kontrast unter Verwendung einer Kontrastfarbe durchgeführt wird.

12. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 10, bei welchem der visuelle 25
Kontrast unter Verwendung von Intensitätsmodulierung durchgeführt wird.

13. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil, welches die 30
folgenden Schritte umfaßt:

Erfassen von Daten für ein 3D-Modell aus einem Bild- 35
verfahren;

Segmentieren der Daten zur Erzielung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße;

Erhalten eines ersten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung einer Strahlungsquelle und eines 40
Bilddetektors, wobei das erste Verfahrensbild die Blutgefäße mit Kontrastmittelinjektion enthält;

Registrieren des segmentierten 3D-Modells mit dem Verfahrensbild, und Ableiten von Parametern daraus, 45
die sich auf die Positionen des Körpersteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells beziehen, durch Vergleichen des ersten Verfahrensbildes mit einer Anzahl von vorberechneten Projektionen des 3D-Modells;

Erhalten eines zweiten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung der Strahlungsquelle und des 50
Bilddetektors; wobei das zweite Verfahrensbild ohne Kontrastmittelinjektion erhalten wird;

Wiedergeben des 3D-Modells durch Auffinden einer Katheterspitze in dem zweiten Verfahrensbild, indem 55
ein Untersatz (subset) des segmentierten 3D-Modells einschließlich der Katheterspitze und strömungsabwärts gelegener Blutgefäßteile wiedergegeben wird; und

Überlagern des 3D-Modells mit dem zweiten Verfahrensbild unter Verwendung eines visuellen Kontrastes.

14. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil für Angio- 60
skopie, welches umfaßt:

Ableiten von Daten aus einem 3D-Modell unter Verwendung von magnetischer Resonanzabbildung, computerisierter Tomographie (CT) oder 3D-Angio;

Segmentieren der Daten zur Erzeugung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße;

Erzeugen eines ersten Verfahrensbildes mit einem vorhandenen Kontrastmittel;

Registrieren des 3D-Modells mit dem ersten Verfah-

rensbild und dadurch Erzielen von "virtuellen Kamera-
parametern";
Wiedergeben des 3D-Modells; und
Überlagern des wiedergegebenen 3D-Modells mit ei-
nem zweiten Verfahrensbild ohne Kontrast, wodurch 5
ein virtueller Kontrast erzielt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

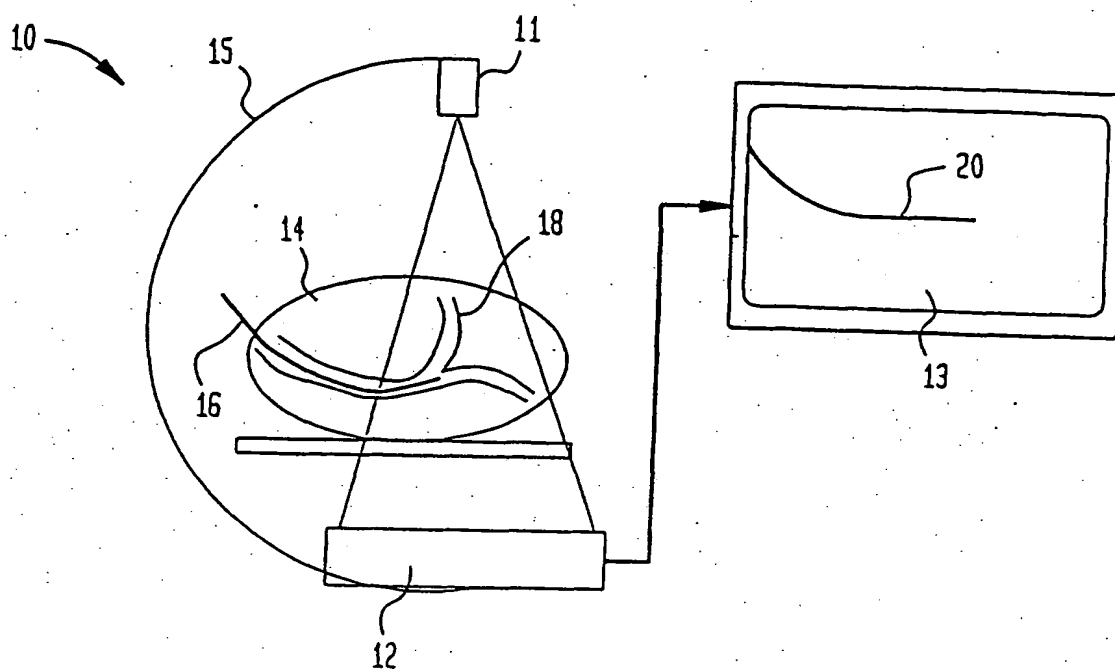


FIG. 2

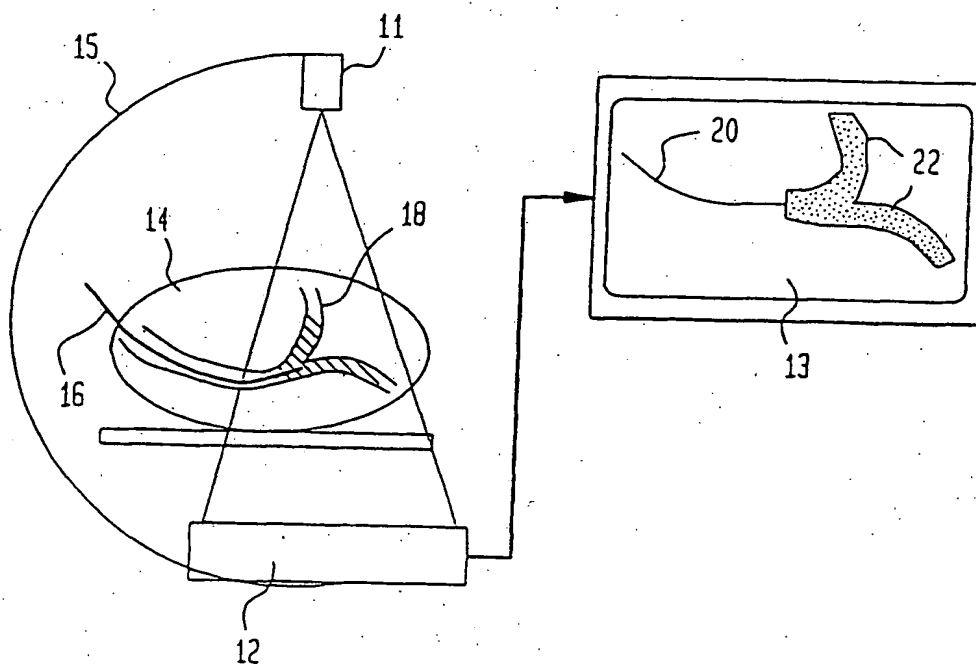


FIG. 3

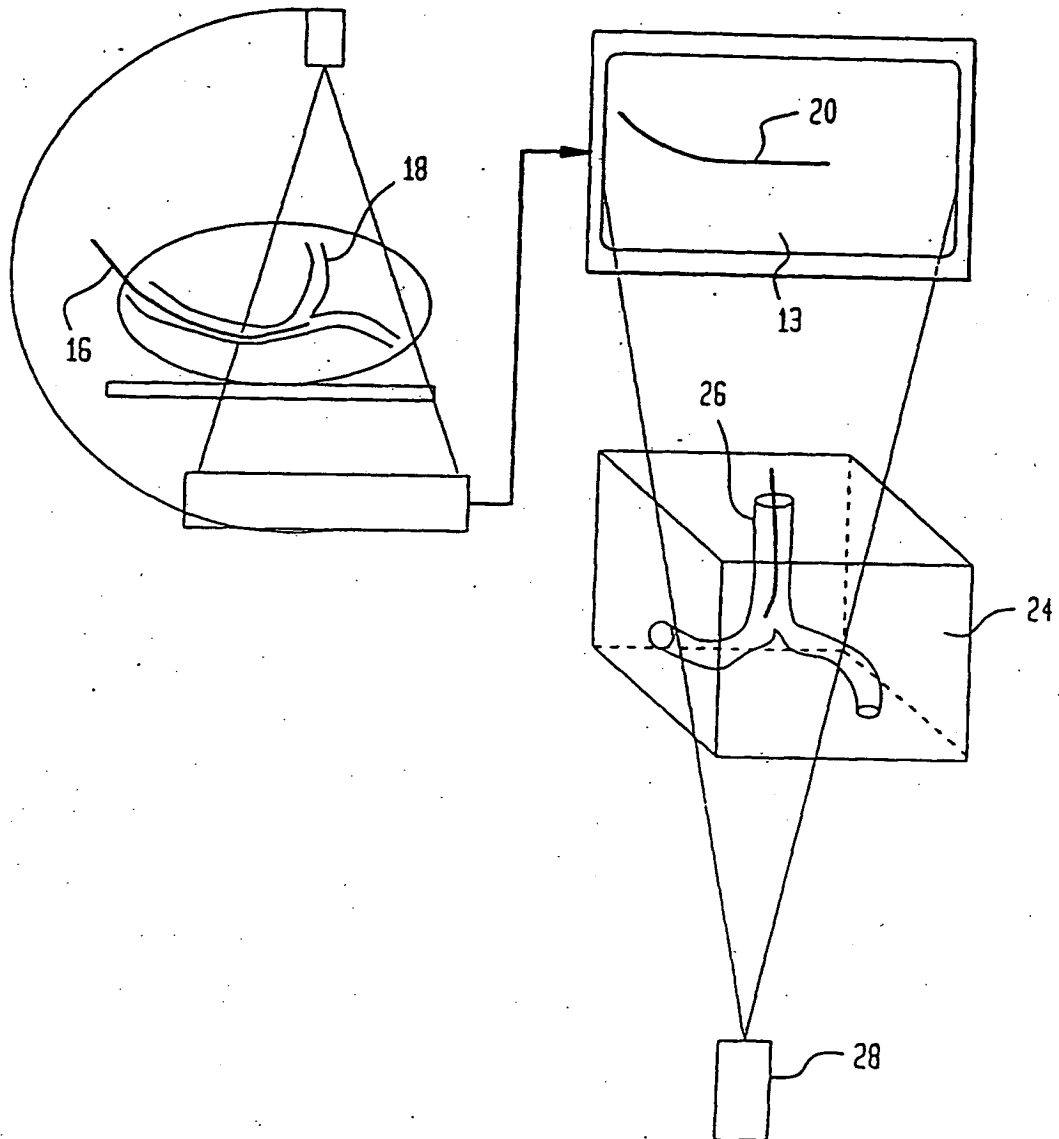


FIG. 4

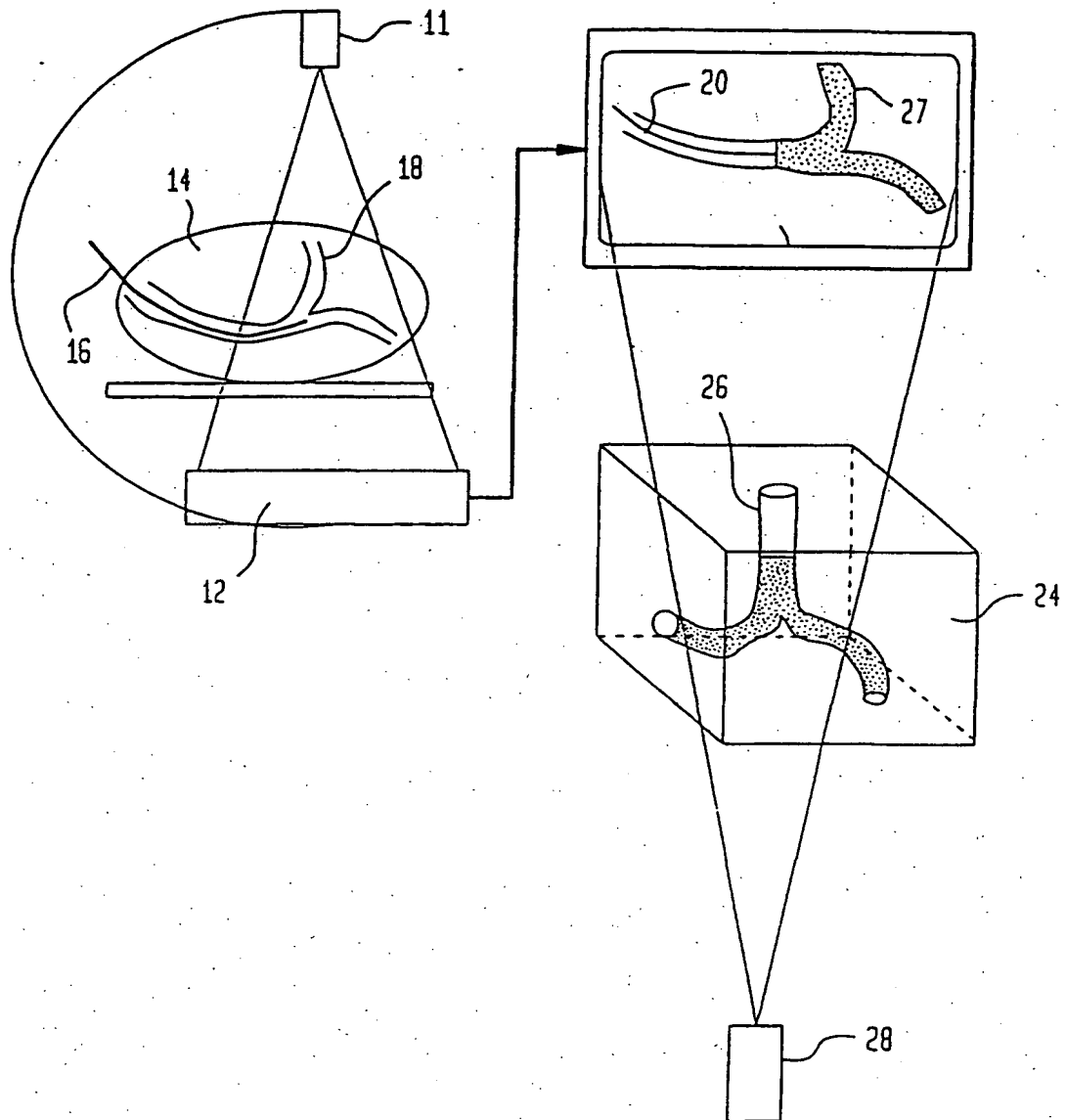


FIG. 5

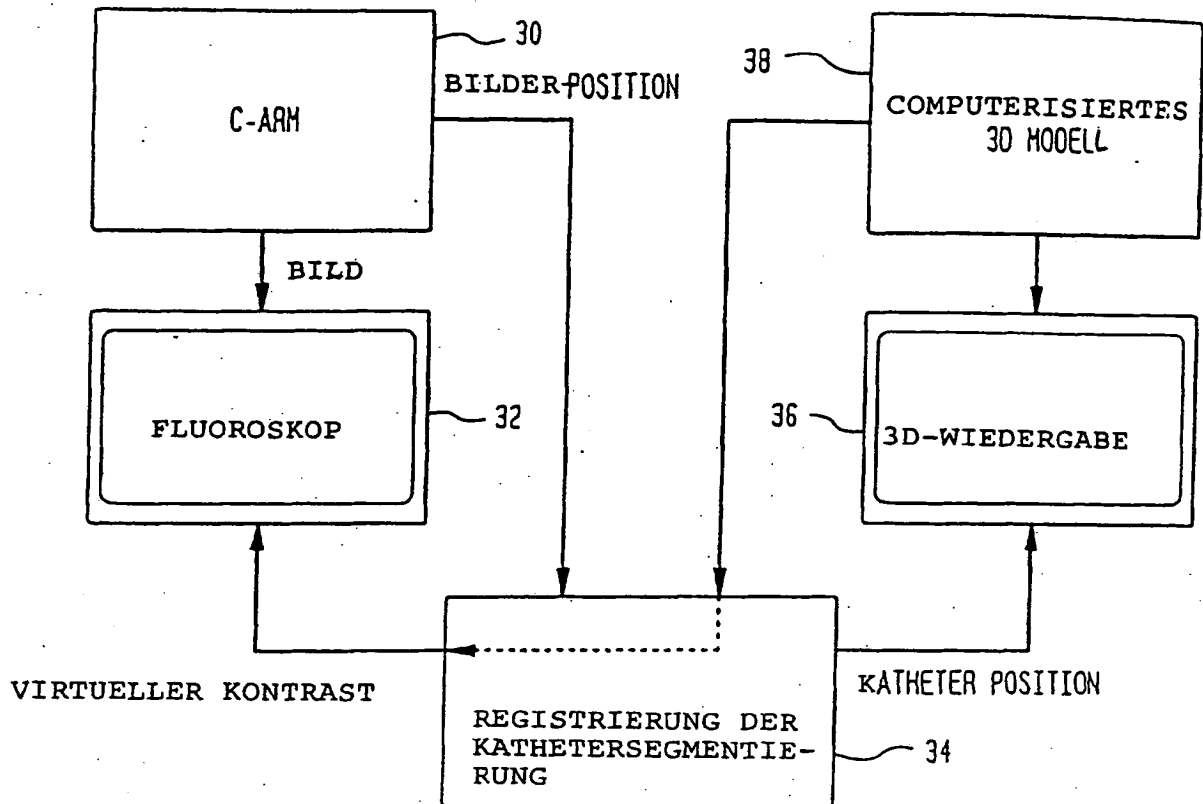


FIG. 6

